第28卷 第2期 工 程 数 学 学 报 Vol. 28 No. 2
2011年04月 CHINESE JOURNAL OF ENGINEERING MATHEMATICS Apr. 2011

文章编号:1005-3085(2011)02-0143-07

一种结合像素空间信息和多维直方图的彩色图像快速分割算法*

张改英， 张讲社

(西安交通大学理学院，西安 710049)

摘 要: 本文提出了一种新的结合空间和彩色信息的彩色图像快速分割方法．首先对三个单色的直方图进行多阈值分割得到一组谷值和峰值，再用谷值向量将真彩色三维直方图分割成不同区域，然后以峰值组成种子向量实现三维直方图的多阈值分割，最后基于空间相邻关系的最优准则对分割的区域不连续性和“洞”重新分割，提高了过渡区域像素的分割精度．

关键词: 彩色图像分割；真彩色三维直方图；均值漂移算法；多阈值分割

分类号: AMS(2000) 35A35 **中图分类号**: O175.2; TP391 **文献标识码**: A

1 引言

彩色图像分割就是利用图像的彩色和空间信息，将图像分割成一些感兴趣的区域．灰度图像分割方法比较成熟[1-3]，但将其直接用于三维特征空间且内部聚类不紧凑的彩色图像分割，结果很不理想．Ong和Hew[2]提出了迭代阈值分割算法，他们在HSI彩色空间中，首先根据灰度直方图对3个分量进行阈值分割，求出各分割区域中象素的RGB分量的均值，并进一步求出相邻区域间的颜色距离，然后根据给定的门槛值进行区域融合，以消除碎片．Sun和Horng[3]提出的自动选择阈值的彩色图像分割算法只适合对同一类的图像进行处理，且易受环境因素的影响．Kungollu[4]等将真彩色三维直方图投影成三个二维直方图(RG, GB, BR)，利用三个二维直方图分别对图像进行多阈值分割，再融合分割图像得到最终分割结果．潘晨和顾锋[5]利用尺度空间聚类理论和区域生长法对二维多阈值方法进行修改，降低了计算复杂度，但在实现过程中仍然需要人工干预，调整分割维数、分辨率和腐蚀膨胀次数．叶齐祥等[6]用颜色粗糙度对图像进行颜色量化后使用增量式的区域生长算法形成图像的初始分割区域，再对初始分割区域进行分级合并，最后利用形态学的有关算法对分割区域的边缘进行平滑．但这两种方法分割图像的后处理比较复杂．本文利用多阈值算法对三个单色直方图得到各自的谷值和峰值，由谷值组合分割真彩色的三维直方图得到一组分割区域，以峰值组合作为相应区域的种子点，在真彩色的三维直方图上应用基于均值漂移(Mean Shift, MS)算法得到三维直方图多阈值分割的类中心颜色向量，并对图像像素进行类标记得到类图，然后对类图依据最优分割准则，结合空间信息得到改进后的分割图像．本文算法应用血液细胞图像的分割试验，结果表明算法的有效性．

收稿日期: 2009-09-02. **作者简介**: 张改英(1964年4月生)，女，副教授．研究方向：图像处理．

***基金项目**: 国家自然科学基金(61075006)；陕西省科技攻关项目(2006K04-G16).

2 真彩色图像的三维直方图 (3D Histogram) 的分割

2.1 3D 直方图的特性

真彩色图像的3D直方图是一种可视化数据图，从中可以观察到像素在3D颜色空间中的聚类特性. 利用3D直方图的峰值可以得到像素分类的各类中心的颜色向量，运用峰态间的谷底轮廓曲线形成类间划分. 但真彩色的3D直方图存在像素数分布密度底，聚类内部紧凑性差，分布空间广等特点，这使得3D直方图的分割尤为困难. 如像素在空间直柱上的分布可能会集中在某一区域，从而存在大量的稀疏甚至是没有像素点的区域，例如 256×256 大小的图像共有像素65536个，而3D直方图的颜色柱数为 $256 \times 256 \times 256 = 16777216$，绝大多数区域内的像素分布稀少. 用一般的优化方法寻找直方图的局部谷底和峰值的搜索空间太大，计算复杂高，即使用在高维空间比较适用的均值漂移 (MS) 算法也由于初始种子点的选择和可能落入稀疏区域而使算法收敛太慢，甚至不收敛. 对3D直方图的多阈值分割有两种常见的方法：一是用三个单色直方图的谷底 (R图 m_R 个，G图 m_G 个，B图 m_B 个) 形成一组平行于坐标平面的平面簇分割3D直方图为 $(m_R+1) \times (m_G+1) \times (m_B+1)$ 块区域 (类)，并以块内像素的颜色向量均值为类中心的颜色向量；该类方法使图像过度分割，且形成了的类中心颜色可能在图像上不存在. 二是将3D直方图投影到三个坐标平面形成三个二维直方图 (RG, RB, GB)，分别对三个二维直方图分割，然后融合分割结果得到3D直方图的分割，融合结果取决于融合准则和图像数据，容易形成大量无法指派的像素.

2.2 MS 算法的缺陷

MS算法是一种利用核函数的密度估计过程、无需监督和参数估计，是一种简单有效的聚类方法，有自适应的步长，平滑的搜索轨迹[7]，最速上升的性质，能适合估计特征空间的任意形状的多峰聚类. 搜索窗宽度参数 h 较大时，MS征空间中密度较小的特征具有拟制作用，因此具有较少特征支持的类可能被忽略而收敛于其附近的密度较大的峰；对于特征接近的聚类，也可能会因类间距 (特征中心向量的距离) 小于搜索窗口宽度而被MS算法归于同一类. 当 h 较小时，MS对特征空间的局部聚类峰比较敏感，容易受噪声的干扰. 均值移动向量的计算公式确定了聚类的时效性. 假设待分割的图像素数为 N^2，每个像素所对应的特征向量的维数为 d，则每次均值移动向量的计算需要做 $d \times N^2$ 比较，若每个点的平均迭代步数为 m，则图像分割所需的计算量为 $m \times d \times N^2 \times N^2$，即像素数的平方级. 对于稀疏和平缓区域，MS算法的收敛性很差，因而对于三维真彩色直方图难以有效分割. MS算法虽然有这些缺陷，但对于多维空间的局部寻优具有较高的适用性和鲁棒性，为此本文对MS算法进行改进，提高其搜索有效性，利用其寻找细胞彩色图像3D直方图的分割阈值.

2.3 基于均值漂移的3D直方图多模态峰值寻优

为了克服MS算法在平坦区域收敛缓慢和模态峰值收敛点依赖种子点的缺陷，我们把基于单色直方图的谷底超平面分割、峰值组合向量和MS算法结合，提出一种基于超平面分割的MS算法寻找3D直方图的局部峰值. 具体做法是:

1) 先对图像的三个单色直方图曲线优化，得到相应的谷值 basin_{ij} 和峰值 peak_{ij}，其中 $j=1,\cdots,m_i$，$k=1,\cdots,n_i$，m_i, n_i 为第 i 个彩色直方图的谷值个数和峰值个数，$i=1,2,3$ 表示红、绿、蓝三色；

2) 由 $x=\mathrm{basin}_{1j}$，$y=\mathrm{basin}_{2k}$，$z=\mathrm{basin}_{3l}\,(j=1,\cdots,m_1,\ k=1,\cdots,m_2,\ l=1,\cdots,m_3)$ 分割3D直方图得到 $(m_1+1)\times(m_2+1)\times(m_3+1)$ 个空间区域；

3) 由 $\mathrm{peak}_{1j}, \mathrm{peak}_{2k}, \mathrm{peak}_{3l}\,(j=1,\cdots,n_1,\ k=1,\cdots,n_2,\ l=1,\cdots,n_3)$ 在对应的区域形成 $(n_1\times n_2\times n_3)$ 个种子点；

4) 用MS算法对3)形成的所有种子点进行均值漂移，对于第 i 个种子点如果移出相应区域

落入第 j 个区域，则合并 i,j 两个区域，并从种子点集中删去第 i 个种子点．重复步骤 4)直到所有种子点收敛．

通过以上步骤得到的种子点的颜色向量即为聚类的类中心，种子点所对应的区域所有像素即为一类．为克服过分割现象，利用该直方图空间中种子点坐标处的像素频度值，以频度相同或相近为连通性条件，在原 3D 直方图空间进行三维区域生长，可以找回被不当阈值切割而丢失的部分像素，以改善分割结果．由于直方图的多阈值分割没有考虑图像的空间结构，会造成图像的过度分割，因而需要一定的后处理．

3 基于图像空间相邻关系和最优准则的再分割

为克服 3D 直方图阈值方法只考虑彩色信息，而不考虑各像素空间信息的固有缺点提出一种基于空间相邻关系的最优分割准则，并基于此准则完成相邻区域合并和不同类别区域过渡像素的划分，消除阈值分割所造成的目标中小空洞和产生的其他小碎片．阈值分割的后处理包括两个过程：空间相邻区域的合并和过渡区像素的划分．

3.1 最优分割准则

图像 $\mathbf{I}$ 的像素个数为 N, v_z 为像素 $z=(x,y)\in\mathbf{I}$ 的颜色向量 (r,g,b)，m 为图像颜色向量的均值．图像经上述方法分割后成为几个大类，并依据图像像素的空间位置(二维坐标)分成 M 个区域，并对每个区域的像素赋予不同的类标号．Z_i, m_i, N_i 分别表示第 $i\,(i=1,\cdots,M)$ 个区域的像素集、颜色均值向量、像素数．定义如下公式

$$m=\frac{1}{N}\sum_{z\in\mathbf{I}}v_z, \tag{1}$$

$$m_i=\frac{1}{N_i}\sum_{z\in Z_i}v_z, \tag{2}$$

$$S_g=\frac{1}{N}\sum_{z\in I}\|v_z-m\|^2, \tag{3}$$

$$S_i=\frac{1}{N_i}\sum_{z\in Z_i}\|v_z-m_i\|^2, \tag{4}$$

$$S_c=\sum_{i=1}^{M_c}S_i, \tag{5}$$

其中 S_g 表示图像的平均距离，S_i 表示第 i 个区域内的平均距离，S_c 表示图像类内平均距离．定义图像的分割指标为

$$J=(S_g-S_c)/S_c, \tag{6}$$

定义图像某个局部区域的分割指标为

$$J_k=(S_{gk}-S_{ck})/S_{ck}. \tag{7}$$

图像分割指标 J 反映了图像的分割效果，图像分割效果好，则图像分割的每个区域内，颜色分布比较均匀，区域内平均距离就校则指标 J 越大，否则指标 J 越小．为了反映图像整体的分割效果给出分割评价指标的定义

$$J_{\text{opt}}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{M}N_iJ_i. \tag{8}$$

通过最小化公式(8)，可以实现过渡区域像素的划分．但是这一优化过程比较复杂，为此我们采用如下两个阶段完成．

3.2 基于分割最优准则的空间相邻区域合并

图像直方图阈值分割后，并依据图像像素的空间位置(二维坐标)分成 M 个区域，并对每个区域的像素赋予不同的类标号，把区域看成一个点，建立图像的区域分割图即“类-图”．根据区域的空间邻接和分割最优准则确定两个相邻区域的合并，具体步骤如下：

1) 建立图像“类-图”和各区域的邻接关系表，令 Z 表示所有类的集合，按公式(8)计算 J_{opt}；

2) 若为空，则结束．否则从集合 Z 中取出类 i，$Z=Z-\{i\}$，对于 i 从 Z 中取出与 i 有邻接关系的类组成类 i 的邻接集 $\mathrm{Adj}(i)$；

3) 若 $\mathrm{Adj}(i)$ 为空，转2)；否则，从 $\mathrm{Adj}(i)$ 中取出元素 k，$\mathrm{Adj}(i)=\mathrm{Adj}(i)-\{k\}$，计算 $Z'=Z_i\cup Z_k$，对集合 Z' 按公式(8)计算新的 J_{opt1}；

4) 若 $J_{\mathrm{opt}}\geq J_{\mathrm{opt1}}$，则合并类 i 和类 k，令 J_{opt}，修改个区域的邻接关系，转2)；否则，转步骤3)．

经过上述步骤完成了空间相邻区域的合并，消除了分割造成的洞和小碎片．

3.3 类间过度区域像素的划分

对每个区域的边界内2像素标记为过度像素．对每个度像素 i 以其为中心建立一个半径为 r 的邻阈，在邻域中然后对每一像素作松弛操作，考察其相邻的区域．对每个相邻区域把像素 i 并入其中，计算该邻域的分割指标 J_{opt}，比较所有分割的局部邻域指标值，把最小指标值对应的像素划分为像素 i 的最终划分．

4 融合空间信息的直方图多阈值彩色图像分割方法及步骤

真彩色细胞图像分割的步骤如下：

1) 对彩色图像生成真彩色三维直方图和三个单色直方图，并对直方图进行光滑；

2) 对三个单色直方图寻求谷底和峰值；

3) 以单色直方图的谷底值对三维直方图进行分割，以单色直方图的峰值组合成三维空间的种子向量，并与前述的分割区域相对应；

4) 按照2.3所述的方法基于均值漂移进行各种子点的局部峰值寻优，得到各区域的聚类中心颜色向量；

5) 按区域类中心对各区域标号生成图像“类-图”；

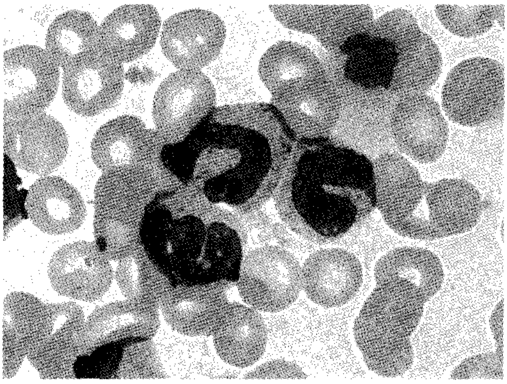
6) 计算图像的分割指标值，并3.2方法进行区域合并；

7) 依据3.3对过度像素进行划分．

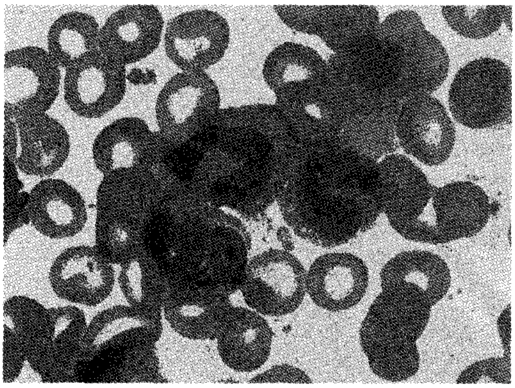
5 细胞彩色图像的分割步骤及实验结果

本文图像从瑞氏染色的人体血液涂片中获得．图1(a)为细胞的真彩色图像，图1(b),图1(c),图1(d)分别为对应的单色直方图多阈值分割图像．在原始单色直方图中寻找合理的谷底作为分割阈值，分割效果很不理想，图1(e)是用本文提出基于均值漂移的3D直方图多模态峰值寻优方法分割成的七类图像；图2(a)是在分割基础上对过度像素划分后的图像和分割准则指标的计算结果 $J_{\mathrm{opt}}=0.203$；图2(b)是基于最优分割准则分割后并进行区域合并和去除最小区域后得到的分割图像，其分割准则指标 $J_{\mathrm{opt}}=0.158$．细胞图像被分为有核细胞(细胞核和细胞质)，无核细胞和背景共四类，且各细胞图像连成一个整体，基本满足了医学上对细胞识别的分割要

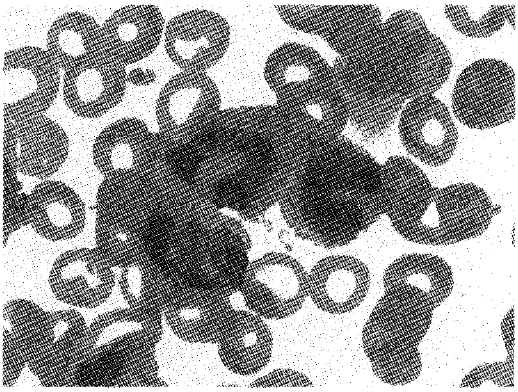
求．对于实验图像，本文方法分割成4个有核细胞，33个无核细胞，人工方法分割成4个有核细胞，31个无核细胞．对血液细胞的10幅图像用本文方法和人工方法进行了分割实验，得到了的统计结果表1(单位为细胞的个数)．可以看出本文实验结果与人工结果基本接近，特别是有核细胞的分割结果．本文实验是在RGB通道上进行的，而彩色转换成Lab和HIS空间，细胞图像的分割效果更好一点．



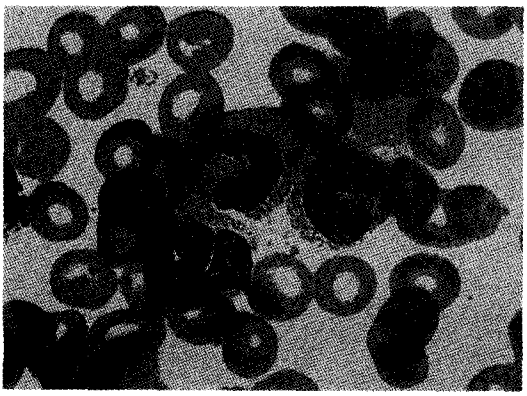
(a) 原彩色图像



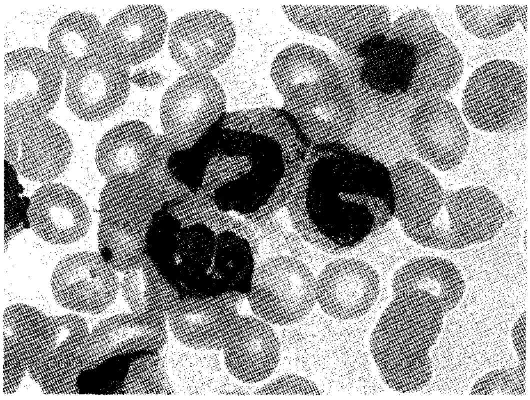
(b) 红色分割图像



(c) 绿色分割图像

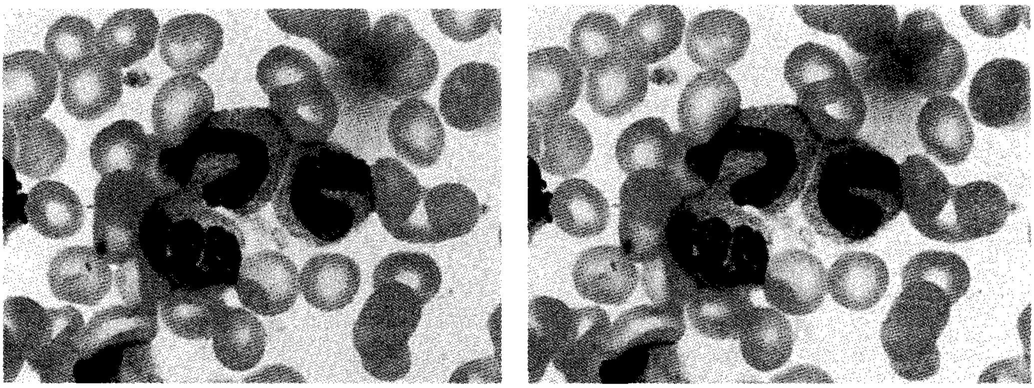


(d) 蓝色分割图像



(e) 基于三维直方图的多模态分割

图 1: 细胞彩色图像的分割图像



(a) 分割图像过度像素划分后 ($J_{\text{opt}} = 0.203$)　(b) 经最优分割准则的区域合并后 ($J_{\text{opt}} = 0.158$)

图 2: 本文方法分割的细胞图像

表 1: 细胞图像分割结果比较

图像编号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
有核细胞	人工	2	4	5	3	6	8	3	7	5	6
	本文	2	4	5	3	6	8	3	6	5	6
无核细胞	人工	21	33	41	30	65	90	42	45	47	72
	本文	20	31	42	30	64	93	44	46	47	70
图像编号		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
有核细胞	人工	7	5	4	3	3	4	5	6	6	2
	本文	8	5	4	3	3	4	5	6	7	2
无核细胞	人工	78	66	43	32	36	41	32	56	63	23
	本文	79	64	44	34	34	39	34	55	59	23

本文提出的一种结合像素空间信息和三维直方图的彩色图像快速分割算法．首先利用多阈值算法和均值漂移算法得到三维直方图的分类中心颜色向量，然后对图像像素进行类标记得到类图，最后对类图依据最优分割准则并结合空间信息改进分割图像．算法消除了分割中的“洞”和细小碎片，提高了过渡像素的分割精度，为图像的细胞识别奠定了基础．

参考文献：

[1] 王卫卫，梁伟文，水鹏朗. 双重主动轮廓图像分割[J]. 工程数学学报，2007, 24(3): 458-462
Wang W W, Liang W W, Shui P L. Double active contour evolution for image segmentation[J]. Chinese Journal of Engineering Mathematics, 2007, 24(3): 458-462

[2] Ong S H, Hew C C. Segmentation of color image bases on iterative thresholding and merging[J]. International Conference on Image Processing and its Applications, 1992: 712-725

[3] Sun Y N, Horng M H. Assessing liver tissue fibrosis with an automatic computer morphometry system[J]. IEEE Engineering in Medical and Biology, 1997: 66-73

[4] Kurugollu F, Sankur B, Harmanci A E. Color image segmentation using histogram multi-thresholding and fusion[J]. Image and Vision Computing, 2001, 19(4): 915-928

[5] 潘晨，顾锋. 基于3D直方图的彩色图像分割方法[J]. 中国图像图形学报，2002, 7: 800-805
Pan C, Gu F. Color image segmentation based on 3D histogram[J]. Journal of Image and Graphics, 2002, 7: 800-805

[6] 叶齐祥，高文，王伟强等. 一种融合颜色和空间信息的彩色图像分割算法[J]. 软件学报，2004, 15(4): 522-530
Ye Q X, Gao W, Wang W Q, *et al.* A color image segmentation algorithm by using color and spatial information[J]. Journal of Software, 2004, 15(4): 522-530

[7] Comaniciu D, Meer P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603-619

A Fast Color Image Segmentation Algorithm by Combining Pixel Space Information and 3D Histogram

ZHANG Gai-ying, ZHANG Jiang-she

(School of Science, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Abstract: By combining the pixel space information and color information, a fast color image segmentation algorithm is proposed in this paper to segment blood cell color images. The main ideas of this method are as follows: firstly, we apply the multi-threshold segmentation method to the three monochrome histograms to obtain a set of combinations of valley and peak values. Then, we utilize valley values to construct some hyperplanes in order to segment the true-color 3D histogram into different areas and employ the mean-shift algorithm with the seed vectors that are composed of peak values to implement the multi-threshold segmentation of 3D histograms. In order to solve the discontinuity problem and "hole" phenomenon of the areas obtained by single-color segmentation, a re-segmentation method using the optimal criterion based on adjacent space information is suggested. Some experiments are conducted and the results show that it can improve the segmentation accuracy to some extent.

Keywords: color image segmentation; true-color 3D histogram; mean-shift algorithm; multi-threshold segmentation

Received: 02 Sep 2009. **Accepted:** 07 Sep 2010.

Foundation item: The National Natural Science Foundation of China (61075006); the Key Science and Technology Program of Shaanxi Province (2006K04-G16).